Centre de Coopération Internationale
en Recherche Agronomique pour le développement
U.P.R. Systèmes canniers

Impact des coupures d'eau de début 2007 dans le Bras de la Plaine sur l'alimentation hydrique de la canne à sucre.

Eléments pour une estimation des risques de baisse de production

L. Le Mézo, M. Mézino, J-L.Chopart, L Bouvet

Février 2007

Correspondance :

Jean Louis Chopart, CIRAD-CA, station Ligne Paradis, 7, chemin de l'IRAT, 97410, St Pierre, La Réunion. chopart@cirad, tel : 02 62 49 92 62.

Avertissement

Ce document est issu de calculs et de modélisations ayant nécessité le maniement d'une importante masse de données (18 entités spatiales x 3 dates de coupe x 2 situations de coupure x 365 jours de cycle) soit près de 40 000 jours de modélisation du bilan hydrique, qui nécessite lui-même une dizaine de paramètres d'entrée. Il a été réalisé dans l'urgence, en moins d'une semaine après la demande. Des améliorations restent sans doute à apporter.

Il fait néanmoins l'objet d'une première diffusion restreinte dans le cadre d'une information urgente des décideurs. Une version améliorée sera élaborée très prochainement ; elle pourra tenir compte des remarques et suggestions des premiers lecteurs que l'on remercie par avance.

Demande et objectifs de l'étude

Le périmètre irrigué du Bras de la Plaine est confronté depuis le début de l'année 2007 à un régime de coupure très sévère. Le Comité de pilotage de la canne à la Réunion a demandé au Cirad de faire des estimations de l'incidence de ces coupures sur le stress hydrique de la canne à sucre pendant le mois de janvier en considérant que ces coupures vont se poursuivre pendant les mois de février et mars. Ceci doit, entre autre, permettre de faire des hypothèses sur l'incidence possible de ces trois mois de rationnement en eau (janvier février mars) sur le rendement final de la canne dans le Bras de la Plaine.
L'étude porte sur le cycle 2006-2007 en utilisant l'outil de simulation FIVE-CoRe (Chopart et al., 2007). Dans 18 micro-zones plus ou moins homogènes, FIVE-CoRe a servi à :
- calculer les volumes d'eau d'irrigation (i) qu'auraient consommés les agriculteurs s'il n'y avait pas eu de coupure, (ii) qu'ils ont utilisé en janvier et qu'ils vont utiliser en février et mars compte tenu des coupures,
- estimer le niveau de déficit hydrique de la canne pendant ces périodes,
- créer, dans chaque micro-zone, un fichier d'irrigations (doses, dates) qui tient compte des dates de coupure qui nous auront été fournies par la Saphir, des contraintes de débit, de tour d'eau etc. Ce fichier d'irrigations simulées servira à une modélisation de la croissance et de la production de la canne avec l'outil MOSICAS (JF Martiné) qui tiendra compte de ces irrigations limitées, modélisées par FIVE-CoRe. Ceci fera l'objet d'un second volet de l'étude.

Eléments méthodologiques

Le modèle de simulation FIVE-CoRe

FIVE-CoRe permet une estimation, en particulier grâce à un modèle de bilan hydrique (Chopart et Vauclin, 1990), des volumes d'eau d'irrigation consommés par les agriculteurs au niveau d'une exploitation agricole ou d'une entité spatiale homogène du point de vue pédo-climatique, en fonction (i) des besoins (climat, stade de la culture), (ii) de la capacité du sol à stocker l'eau, (iii) des contraintes (dont les coupures). Il s'agit ici d'une simulation de consommations optimisées, compte tenu des contraintes. L'outil est décrit plus en détail par ailleurs (Chopart et al., 2006, Chopart et al., 2007). On pourra se référer à ces documents pour plus d'informations. Il a déjà été utilisé avec succès pour une étude sur la variabilité des consommations en eau d'irrigation en culture de canne dans les deux périmètres irrigués du Sud et du Sud-Ouest de la Réunion (Chopart et al., 2006).

Définition des micro-zones homogènes

Le périmètre irrigué du Bras de la Plaine est situé dans une zone où, comme presque partout à la Réunion, les variabilités spatiales du climat et du sol sont grandes. Il n'est donc pas possible de traiter ce périmètre comme une entité unique. Il n'est pas non plus possible, ni utile ici, de travailler à l'échelle d'exploitation individuelle. Ceci poserait d'ailleurs des problèmes légaux (informatique et liberté). On a donc, comme, dans une étude précédente (Chopart et al. 2006), découpé le Bras de la Plaine en entités spatiales que l'on peut considérer comme plus ou moins homogène du point de vue du climat et du sol. Ceci a conduit à identifier 18 entités (figure1). L'entité E17 de faible surface a été comme dans l'étude précédente, regroupée avec l'entité E18, ce qui explique la présence d'une entité E19

alors qu'il n'y a que 18 entités étudiées. Les caractéristiques de réserve en eau utile, d'altitude, et les emplacements des postes météorologiques utilisés pour définir le climat sont donnés en tableau 1.

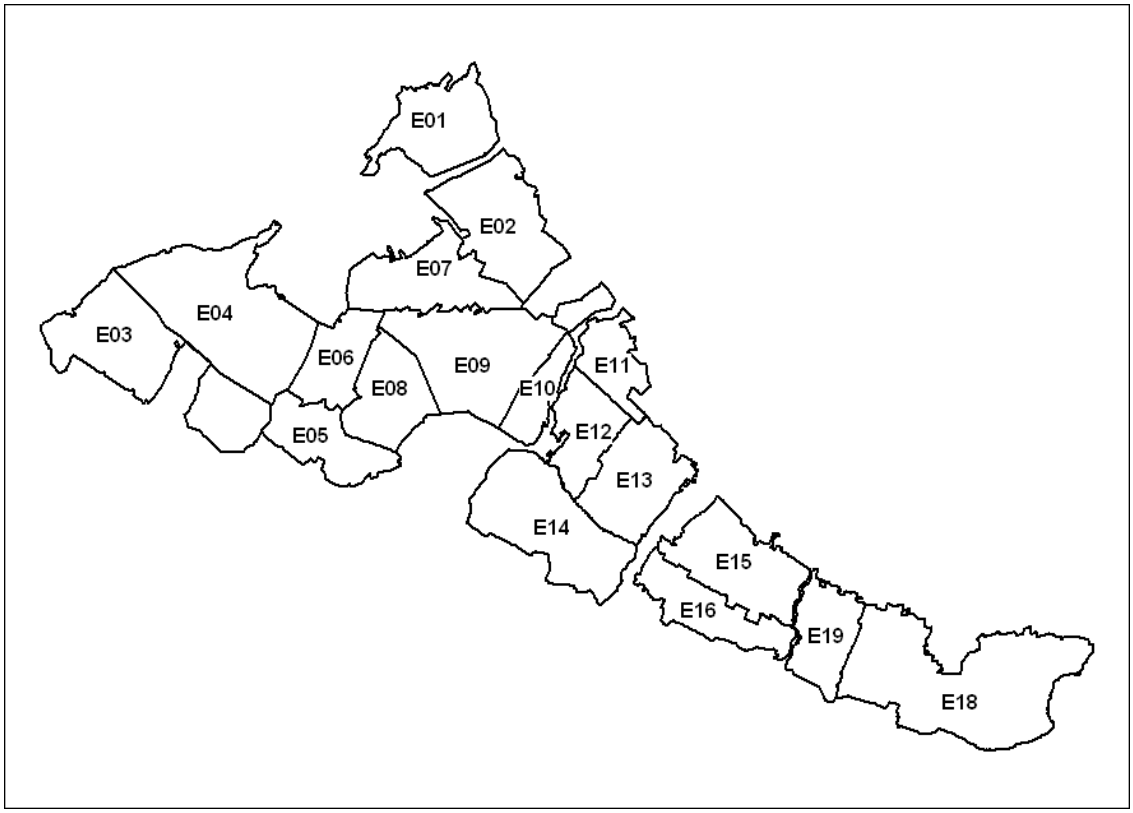

Figure 1. Délimitation de 18 micro-zones du Bras de la Plaine pouvant être considérées comme homogènes du point de vue du sol et du climat. Les caractéristiques pédoclimatiques et l'altitude de ces micro-zones sont consultables dans le tableau 1.

Tableau n° 1. Localisation et quelques caractéristiques des 18 entités spatiales étudiées utilisées pour la modélisation : réserve maximale en eau utile, altitude, postes météorologiques utilisés pour définir le climat (ETP, pluies).

Entité	nom de la zone	Ru en mm	Altitude	Poste ETP	Poste Pluie 1	Poste Pluie 2
E01	Rideau	75	300	Ravine des Cabris	Ravine des Cabris	
E02	Ravine des Cabris haut	72	300	Bassin-Martin	Bassin-Martin	Ravine des Cabris
E03	Pierrefonds bas	42	25	Pierrefonds	Pierrefonds	
E04	Pierrefonds haut	37	75	Pierrefonds	Pierrefonds+10%	
E05	Monrepos haut	39	150	Ligne-Paradis	Pierrefonds	Saint Pierre Terre Sainte
E06	Monrepos bas	44	150	Ligne-Paradis	Ligne-Paradis	Pierrefonds
E07	Ravine des Cabris bas	52	150	Bassin-Martin	Ravine des Cabris	Ligne-Paradis
E08	Ligne Paradis	63	100	Ligne-Paradis	Ligne-Paradis	Pierrefonds
E09	Lignes des bambous	63	200	Ligne-Paradis	Ligne-Paradis	
E10	4 voies	130	200	Ligne-Paradis	Bassin-Martin	Ligne-Paradis
E11	Bassin Martin	120	225	Bassin-Martin	Bassin-Martin	
E12	Bassin Plat haut	126	225	Ligne-Paradis	Bassin-Martin	Ligne-Paradis
E13	Terre rouge haut	125	225	Ligne-Paradis	Bassin-Martin	Grand-Bois(M.Avril)
E14	Bassin Plat bas	126	100	St Pierre Terre Ste	St Pierre Terre Ste	
E15	Grand Bois haut	60	175	Ligne-Paradis	Grand-Bois(M.Avril)	
E16	Grand Bois	60	175	St Pierre Terre Ste	St Pierre Terre Ste	Grand-Bois(M.Avril)
E17		111	175	Ligne-Paradis	Grand-Bois(M.Avril)	Petite Ile (ZAE)
E18	Petite ile	102	175	Lycée de St Joseph	Petite Ile (ZAE)	
E19	Anse les bas	110	175	Ligne-Paradis	Petite Ile (ZAE)	Saint Pierre Terre Sainte

Caractérisation des pluies et des irrigations pendant la campagne 2006-2007

Dans le Bras de la Plaine, les coupures ont commencé mi-décembre 2006. Le calendrier des coupures depuis mi-décembre a été fourni par l'organisme distributeur de l'eau d'irrigation (SAPHIR). D'après cet organisme, les coupures subies en janvier vont, selon toute probabilité se prolonger en février et en mars. Une probabilité réaliste, suggérée par la Saphir est, pour ces deux mois à venir, un niveau de coupure comparable à celui de janvier. Pour tenir compte de cette réalité connue (jusqu'à début février, au moment de l'étude) et des probabilités à partir de début février, un fichier de pluies et d'irrigations a été élaboré comme suit :

- Entre le début de la campagne et le 15 décembre 2006 :
  Pluies réelles et irrigations calculées par FIVE-CoRe, sans contrainte de coupure
- Entre le 15 décembre et le 5 février :
  Pluies réelles, irrigations calculées par FIVE-CoRe avec les contraintes de coupure fournies par la Saphir
- du 5 février à fin mars :
  Pluies statistiques (médianes), irrigations calculées par Five-CoRe avec les contraintes de coupures identiques à celles de janvier à partir d'informations données par la Saphir.
- période postérieure à fin mars
  Pluies statistiques (médianes), irrigations calculées par Five-CoRe sans contraintes de coupure.

Dans le tableau 2, figurent les totaux mensuels de pluies, en valeurs mesurées pour la période avant le 1 février et prévisionnelles ensuite (pluies statistiques médianes). On note que la pluviosité du mois de décembre 2006, est très faible et déficitaire dans toute la zone de l'étude. Les coupures sont donc survenues à un moment où les réserves hydriques du sol étaient déjà largement diminuées.

Tableau n°2. Pluviosité mensuelle dans chacune des entités spatiales étudiées entre le début et la fin de la campagne 2006-2007 (août 2006 à novembre 2007). Les pluies entre août 2006 et fin janvier 2007 sont des pluies réelles. Celles retenues pour la période prévisionnelle à partir de début février 2007 sont les hauteurs médianes (une année sur 2).

	Précipitations															
	historiques						statistiques médiane									
	août-06	sept-06	oct-06	nov-06	déc-06	janv-07	févr-07	mars-07	avr-07	mai-07	juin-07	juil-07	août-07	sept-07	oct-07	nov-07
E01	4	63	13	29	9	71	93	50	60	34	34	27	7	15	3	8
E02	14	71	15	63	5	84	79	47	72	45	47	42	11	21	4	5
E03	8	64	8	8	1	61	58	66	36	32	38	17	7	7	1	4
E04	8	64	8	8	1	61	53	66	36	32	38	17	7	7	1	4
E05	16	71	12	76	1	63	49	66	51	40	47	29	14	10	3	6
E06	16	71	12	76	1	63	58	70	49	39	44	29	13	9	3	4
E07	14	71	15	63	5	84	67	62	61	40	42	34	13	14	4	6
E08	16	71	12	76	1	63	51	70	49	39	44	29	13	9	3	4
E09	25	79	17	97	2	65	61	74	62	46	51	41	20	12	6	4
E10	25	79	17	97	2	65	59	59	72	51	56	49	17	20	5	2
E11	25	79	17	97	2	65	74	45	83	57	61	58	14	28	5	1
E12	25	79	17	97	2	65	59	59	72	51	56	49	17	20	5	2
E13	31	98	22	101	1	67	77	78	80	66	76	71	25	25	7	2
E14	25	79	17	97	2	65	55	66	67	48	57	40	22	14	5	9
E15	37	117	28	105	1	55	69	112	79	75	91	85	35	23	10	4
E16	31	98	22	101	1	67	58	89	73	61	74	62	29	18	7	6
E18	51	132	38	80	2	75	135	112	135	133	91	101	47	40	28	10
E19	44	124	33	92	1	65	87	89	101	91	74	71	35	27	16	10

Autres paramètres d'entrée du modèle

Les valeurs des paramètres d'entrée du modèle, autres que ceux des pluies et des irrigations, ont été reprises de l'étude précédente (Chopart et al. 2006), pour chaque entité spatiale, en particulier :

- la réserve en eau utile du sol (tableau 1)
- les niveaux de remplissage du réservoir sol (seuil de déclenchement 50%, taux de remplissage 90% de la réserve en eau utile)
- les débits disponibles (0.65 l/s/ha).

Objets et situations à modéliser

Une modélisation des irrigations, compte tenu des contraintes, a été réalisée pendant tout le cycle :

- sur chacune des 18 entités spatiales
- pour trois dates de début de cycle (1 août, 1 octobre, 1 décembre)
- avec une hypothèse d'irrigation tous les 6 jours en aspersion
- avec les coupures déjà subies ou annoncées, ou dans l'hypothèse où il n'y aurait pas eu de coupure.

Variables de sorties

Dans chacune des micro-zones, pour 3 dates de coupe, et dans deux situations (sans coupures et avec coupure), soit 108 situations, les informations fonctionnelles issues de la modélisation sont :

- volume d'eau d'irrigation en m^3/ha/mois
- niveau de déficit hydrique subi par la canne à sucre en particulier en janvier et février
- irrigations journalières pour servir de variables à une modélisation de la croissance et de la production.

Résultats

Dates des coupures depuis le 18/12/06

Coupures sur l'ensemble du périmètre

Les jours pour lesquels l'ensemble des branchements agricoles du périmètre a été fermé sont :

Du 2/01/07 au 04/01/07 compris, remis en eau journée du 5/01/07
Du 15/01/07 au 20/01/07 compris, remis en eau journée du 21/01/07
Du 23/01/07 au 24/01/07 compris, remis en eau journée du 25/01/07
Du 26/01/07 au 28/01/07 compris, remis en eau journée du 29/01/07
Le 30/01/07, remis en eau journée du 31/01/07
Du 1/02/07 au 5/02/07 compris, remis en eau journée du 06/02/07

Coupures sur des parties du périmètre

18-19/12/06	Zone Bassin Martin
19/12/06	Zone haut Ravine des Cabris et Bassin Martin
21-22/12/06	Zone bas Ravine des Cabris
26-27/12/06	Zone bas Ravine des Cabris et Mont Caprice

28-29/12/06	Zone Mont-Vert et Petite Ile
5-6/01/07	Zone haut Ravine des Cabris et Bassin Martin
7-8/01/07	Zone bas Ravine des Cabris
9-10/01/07	Zone Mont-Vert et Petite Ile
22/01/07	Zone Mont-Vert et Petite Ile

Les jours de remise en eau ont été considérés comme coupés.

Pour les mois de février 2007 et mars 2007, les jours de coupure de janvier ont été presque intégralement reportés (tableau 3), suivant ainsi les prévisions de la Saphir (reconduction des coupures dans le même scénario). La seule entorse a été de considérer que le premier jour de mars serait coupé et que le dernier jour de mars (31) ne serait pas coupé.
Au mois de janvier, les coupures ont donc concerné les 2/3 du mois avec, fait aggravant, des longues périodes sans eau (tableau 3).

Tableau n°3. Exemple de calendrier des coupures pour une micro-zone (E11) avec les dates réelles pour le mois de janvier et les dates prévisionnelles pour les mois de février et mars.

Création du calendrier des coupures

Date courante 2007

	janvier	février	mars	avril
1		Coupé	Coupé	
2	Coupé	Coupé	Coupé	
3	Coupé	Coupé	Coupé	
4	Coupé	Coupé	Coupé	
5	Coupé	Coupé	Coupé	
6	Coupé			
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15	Coupé	Coupé	Coupé	
16	Coupé	Coupé	Coupé	
17	Coupé	Coupé	Coupé	
18	Coupé	Coupé	Coupé	
19	Coupé	Coupé	Coupé	
20	Coupé	Coupé	Coupé	
21	Coupé	Coupé	Coupé	
22				
23	Coupé	Coupé	Coupé	
24	Coupé	Coupé	Coupé	
25	Coupé	Coupé	Coupé	
26	Coupé	Coupé	Coupé	
27	Coupé	Coupé	Coupé	
28	Coupé	Coupé	Coupé	
29	Coupé		Coupé	
30	Coupé		Coupé	
31	Coupé			

Avec ce cahier des charges de coupures et compte tenu du climat et des hypothèses imposées à FIVE- CoRe, celui a modélisé les dates des irrigations et les doses qui ont pu être apportées. Ce fichier qui n’est pas reporté ici en détail va en revanche servir à faire une simulation de la croissance et de la production avec le modèle Mosicas de JF Martiné.

Effets des coupures sur le déficit d'apport d'eau d'irrigation

Tableau n° 4. Déficit dans les volumes d'eau d'irrigation qui ont pu être apportés en janvier 2007 par rapport aux besoins théoriques en eau d'irrigation (BTEI) pendant la même période. Valeurs moyennes pour trois dates de début de cycle (1 août, 1 octobre, 1 décembre 2006).

	Pluies	BTEI sans coupure en m^3/ha	Déficit d'irrigation m^3/ha	Différence entre BTEI et irrigations avec coupure
E01	71	536	80	15%
E02	84	362	46	13%
E03	61	720	449	62%
E04	61	707	450	64%
E05	63	745	423	57%
E06	63	750	439	59%
E07	84	552	212	38%
E08	63	806	435	54%
E09	65	711	361	51%
E10	65	628	325	52%
E11	65	650	347	53%
E12	65	607	325	54%
E13	67	585	217	37%
E14	65	650	260	40%
E15	55	756	357	47%
E16	67	628	290	46%
E18	75	607	152	25%
E19	65	650	195	30%

Les coupures déjà survenues en janvier (tableau 3) ont eu pour effet de diminuer les apports d'eau d'irrigation (tableau 4). Cette diminution va de 15 % dans les zones où les besoins étaient les plus faibles (Ravine des Cabris, partie haute de Bassin Martin) à plus de 60% où les besoins en irrigations sont les plus forts (Pierrefonds, parties basses de St. Pierre).

En faisant l'hypothèse que les coupures vont se poursuivre en février et en mars, et en prenant les pluies statistiques médianes de chaque micro-zone, on aboutit, fin mars, à un déficit mensuel moyen pour les trois mois figurant dans le tableau 5 et la figure 2. Ce déficit sur trois mois est un peu atténué pour les zones les plus sèches comme Pierrefonds, mais il reste très important (réduction de 50 %). Ceci correspond à des volumes d'irrigation divisés par 2 par rapport aux besoins normaux (exemple : apport sans coupures 100 m^3, apport avec coupure 50 m^3, différence : 100-50/100 = 50%). Toutes les micro-zones, même les plus humides comme Petite Ile, subissent une réduction des apports d'eau supérieure à 22%.

Il n'y a pas de différences notables dans les diminutions des irrigations en fonction de la date de début du cycle (tableau annexe 1). C'est pourquoi, seule la moyenne des trois dates figure ici. Ceci est d'ailleurs représentatif des exploitations de la zone, où les récoltes sont échelonnées sur toute la période de coupe.

Tableau n° 5. Besoins théoriques en eau d'irrigation sans coupure (BTEI) au cours du premier trimestre 2007, en m^3/ha/mois et déficits d'apport d'eau avec les coupures pendant les 3 mois de janvier, février et mars 2007. Valeurs moyennes pour trois dates de début de cycle (1 août, 1 octobre, 1 décembre 2006).

	BTEI sans coupure en m^3/ha/mois	Déficit en m^3/ha/mois	Diff en %
E01	588	157	27%
E02	584	164	28%
E03	765	377	49%
E04	747	384	51%
E05	744	343	46%
E06	723	354	49%
E07	666	243	36%
E08	755	314	42%
E09	664	258	39%
E10	650	159	24%
E11	650	173	27%
E12	621	152	24%
E13	506	123	24%
E14	679	224	33%
E15	573	284	50%
E16	637	274	43%
E18	368	137	37%
E19	491	108	22%

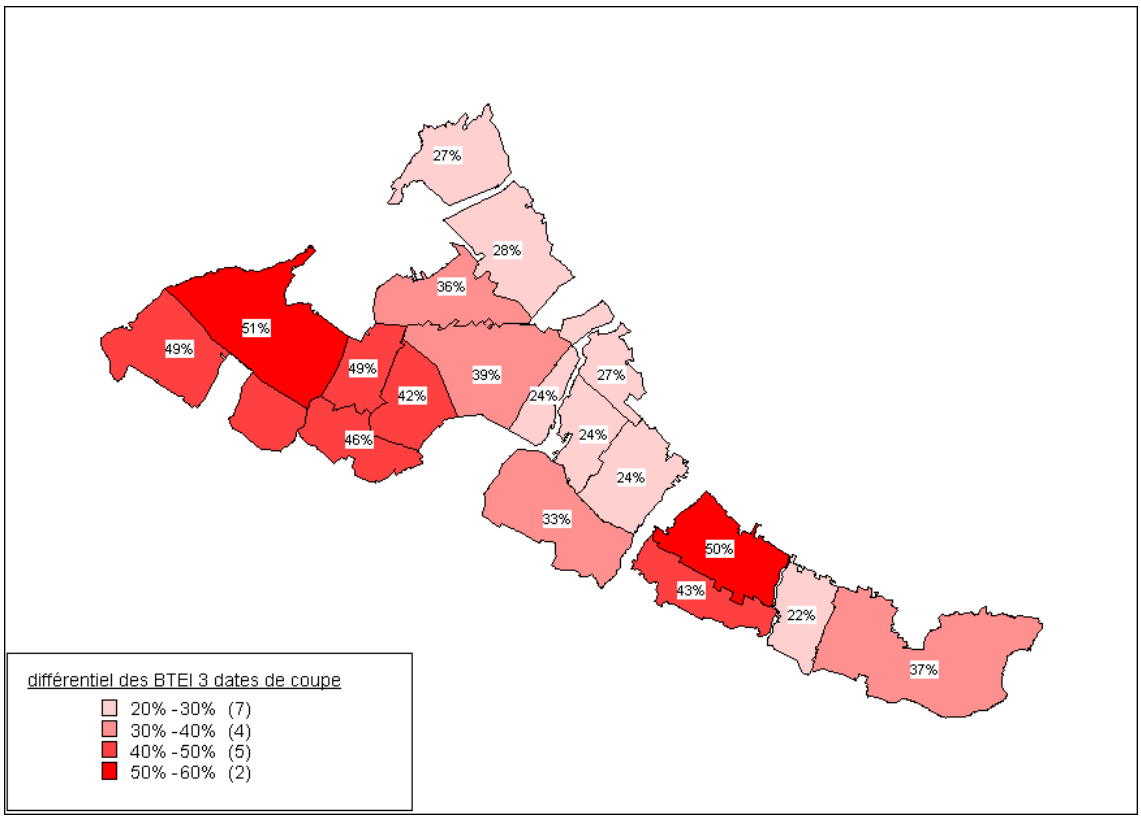

Figure 2. Déficits d'apport d'eau d'irrigation par micro-zone, en % par rapport aux besoins en irrigation sans coupure (BTEI) pendant les mois de janvier, février et mars 2007. Valeurs moyennes pour trois dates de début de cycle (1 août, 1 octobre, 1 décembre 2006). Les volumes d'irrigation sans coupures (BTEI) et avec coupures sont dans le tableau 5.

Comme on pouvait s'y attendre, les coupures d'eau ont donc entraîné une réduction marquée des apports d'eau d'irrigation. Cette réduction n'est toutefois pas directement proportionnelle à la durée des coupures, car en absence de coupures, les capacités d'irrigation ne sont pas forcément utilisées à 100%, en particulier en cas de période humide. L'agriculteur a donc une capacité de rattrapage qui a été prise en compte dans la modélisation.

Effets du déficit d'apport d'eau sur le niveau d'alimentation hydrique des cultures

Les déficits d'apport d'eau ont entraîné une réduction du taux de satisfaction des besoins en eau de la canne. Ce taux de satisfaction des besoins en eau est défini ici comme le rapport entre l'évapotranspiration réelle de la culture (ETR) et l'évapotranspiration maximale en conditions hydriques optimales (ETM). Ces réductions dépendent du déficit d'apport d'eau mais aussi de la réserve en eau utile du sol qui est, par exemple, nettement plus faible à Pierrefonds qu'à Bassin Martin. Ces rapports ETR/ETM sont exprimés ici en moyenne mensuelle (somme des ETR divisée par la somme des ETM), avec des jours où, du fait des pluies ou des irrigations, ce rapport remonte à une valeur proche de 1 (besoins entièrement satisfaits).

En absence de coupure les rapports ETR/ETM sont toujours proches de 1 (tableaux annexes 2, 3, 4), sauf pour les cannes de début de campagne pendant les mois de janvier février et mars, c'est à dire pendant les périodes chaudes, lorsque les besoins en eau de la canne sont les plus élevés. Pendant ces mois et pour la canne de début de campagne, les ETR/ETM peuvent descendre à 0.8 (tableau annexe 2). Il est toutefois admis qu'une telle baisse du taux de satisfaction des besoins d'environ 20 % n'a pas d'incidence forte sur le rendement, si elle est temporaire, limitée à quelques semaines. On trouvera, en figure annexe 1, un graphique tiré de Dorenboos and Pruitt (1992) montrant la relation empirique proposée par Chang (1963) entre le rapport ETR/ETM et la baisse de production par rapport au rendement maximum.

Cette légère baisse du taux de satisfaction des besoins en eau sans coupure, avec des doses d'irrigations proposées par le modèle FIVE-CoRe montre que ce modèle, avec les paramètres d'entrée qu'on lui a imposé (en particulier irrigation uniquement lorsque la réserve en eau utile est diminuée de moitié), simule bien des irrigations optimisées. Les doses d'irrigation sont calculées au plus juste avec, en fin de tour d'eau et en période chaude, une légère baisse du taux de satisfaction des besoins en eau. Les doses étant ainsi optimisées, toute réduction par rapport à celles-ci à cause des coupures aura des conséquences sur le fonctionnement hydrique de la culture.

Dans le scénario avec coupures, les ETR/ETM sont en effet abaissés par rapport au scénario sans coupure, dans des proportions variables d'une micro-zone à l'autre (figure 3, tableaux annexe 2, 3, 4). La plus affectée est la zone de Pierrefonds (E3, E4). Les moins affectées sont les zones de Bassin-Martin (E12, E13) et de Petite Ile (E18). En fait, c'est toute la région de basse altitude autour de St Pierre qui est concernée (avec un ETR/ETM inférieur ou égal à 0.75 en moyenne sur trois mois). La micro-zone de la partie basse de Grand Bois est juste à cette limite de 0.75, grâce à des sols qui ont, d'après les travaux de Raunet (1991), une réserve en eau utile supérieure à celle des sols de basse altitude au nord ouest de St Pierre.

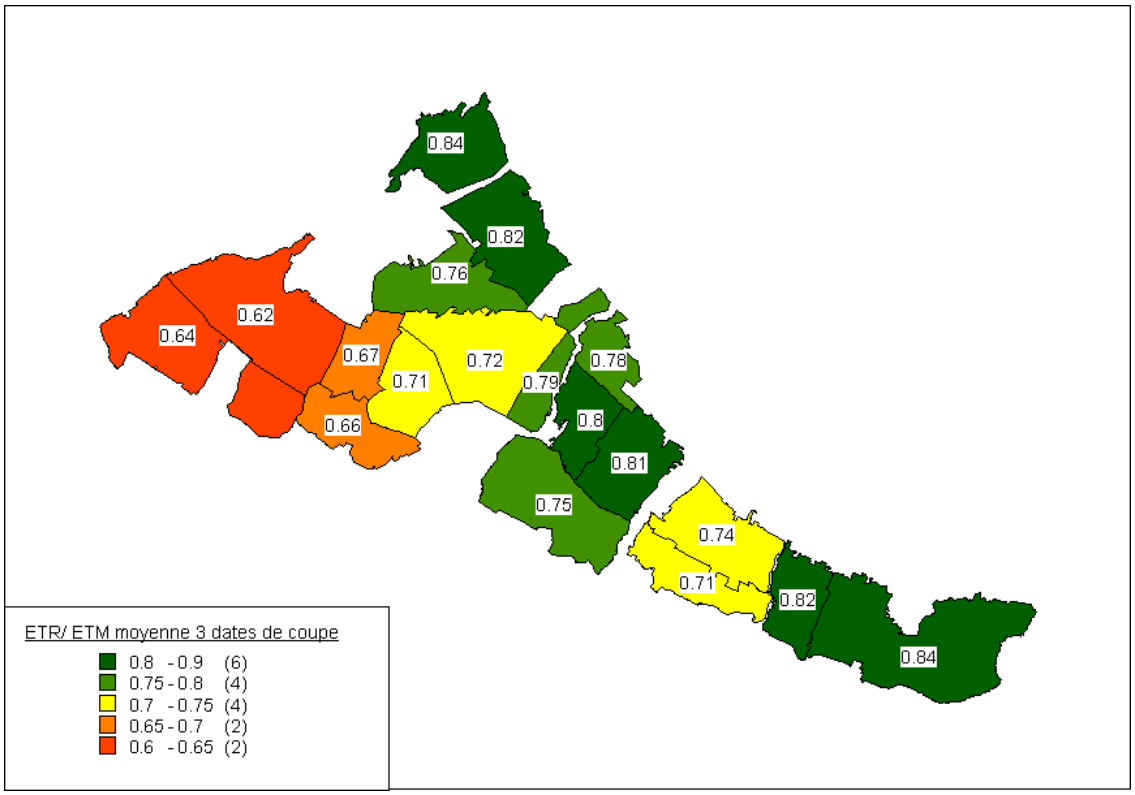

Figure 3. Taux de satisfaction en eau (ETR/ETM) moyens prévisionnels, par micro-zone, pendant le premier trimestre de 2007 avec les hypothèses de coupures retenues. L'ETR/ETM peut varier de 1 (satisfaction maximale), à 0 (arrêt de la transpiration, culture en train de sécher).

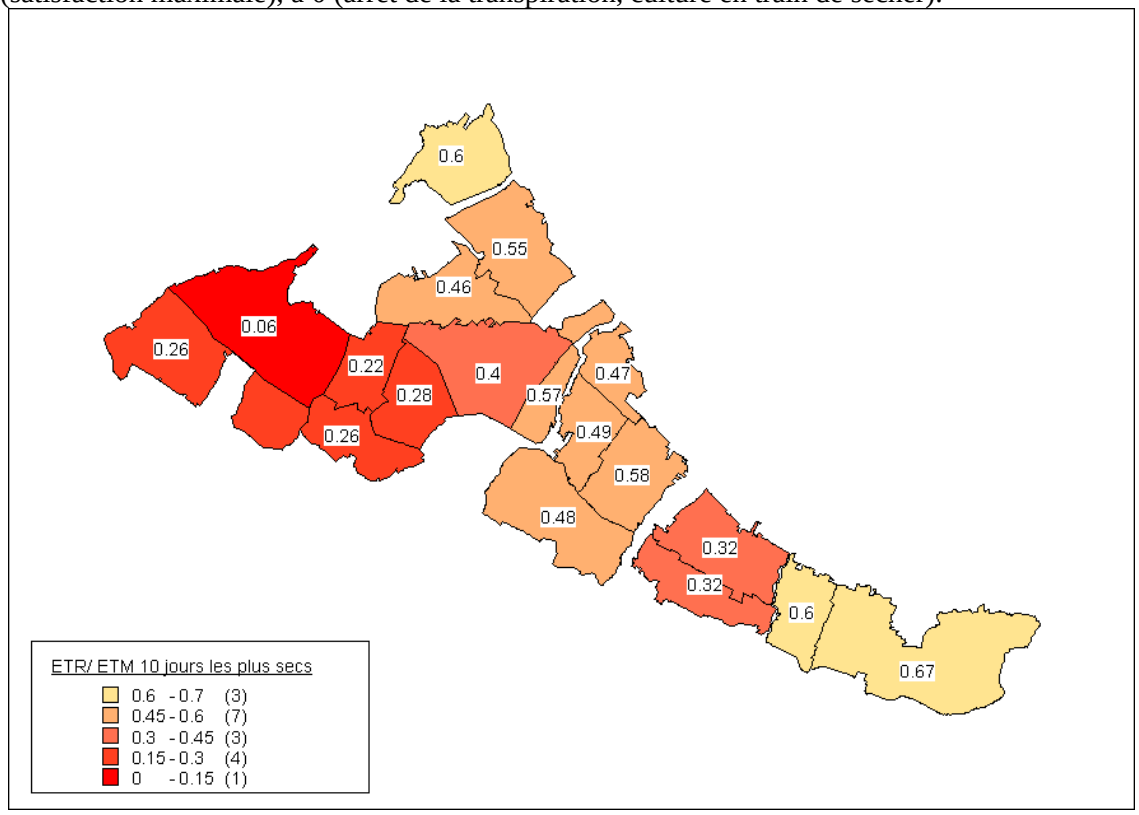

Figure 4. Cartographie, par micro-zone, des ETR/ETM prévisionnels pendant le premier trimestre de 2007 avec les hypothèses de coupures retenues. Valeurs des ETR/ETM pour les 10 jours avec les ETR/ETM les plus bas (sur 90 jours) pour la canne de début de campagne. L'ETR/ETM peut varier de 1 (satisfaction maximale, à 0 : arrêt de la transpiration, culture en train de sécher).

Les rapports ETR/ETM moyens par mois ou sur le trimestre concerné donnent des indications sur la localisation des zones les plus touchées par les coupures et sur les tendances lourdes du déficit. Mais ce rapport ETR/ETM fluctue en fait tous les jours en fonction du climat, du nombre de jours sans pluie et sans irrigation, de la demande de la culture etc.Dès qu'il pleut ou qu'une irrigation est effectuée, le rapport ETR/ETM remonte rapidement à une valeur proche de 1. Or, l'incidence du déficit hydrique sur la culture dépend fortement des périodes même courtes où le rapport ETR/ETM devient très bas arrêtant, ou au moins ralentissant fortement, les principaux processus physiologiques de la plante, en particulier la photosynthèse. C'est pourquoi, on a identifié, au cours des trois mois de janvier février et mars (90 jours), les 10 jours ayant les rapports ETR/ETM les plus bas.

Les ETR/ETM moyens au cours de ces 10 jours à plus fort stress hydrique sont reportés dans la figure 4. Suivant ce critère, ce sont les zones de basse altitude près de St Pierre qui sont les plus affectées par le stress hydrique, en particulier la zone de Pierrefonds, mais aussi le bas de la Ravine des Cabris, la Ligne paradis, le bas de la zone de Mon Repos. Toute cette zone a un ETR/ETM moyen pendant 10 jours inférieur à 0.3, avec même, à Pierrefonds, une zone à moins de 0.1, ce qui peut être considéré comme sub-léthal.

La figure 5 montre l'évolution du taux de satisfaction des besoins en eau (ETR/ETM) au cours du cycle de la canne de début de campagne, dans les deux micro-zones les plus contrastées du point de vue déficit hydrique, la moins stressée (Petite Ile, E18) et celle qui a déjà subi le fort stress (Pierrefonds, E4). Le stress de la micro-zone de Pierrefonds apparaît clairement à la fois dans son intensité, dans sa durée par rapport à l'ensemble du cycle et dans sa position en milieu de cycle.

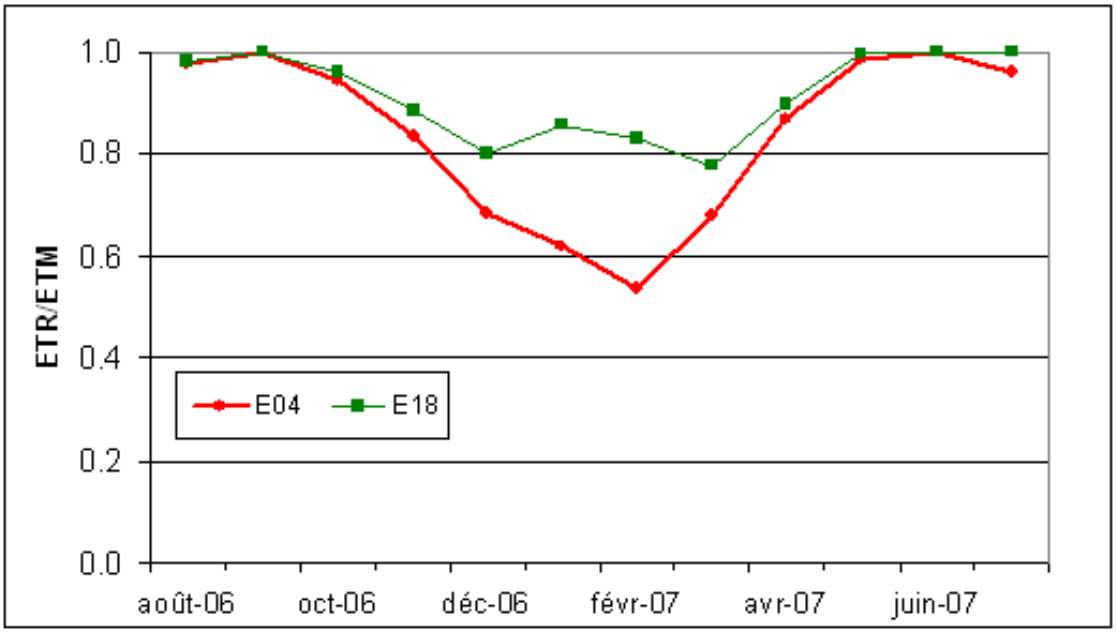

Figure 5. Evolution du taux de satisfaction des besoins en eau (ETR/ETM) au cours du cycle de la canne de début de campagne, dans les deux micro-zones les plus contrastées du point de vue déficit hydrique : la moins stressée (Petite Ile, E18) et celle qui a déjà subi le fort stress (Pierrefonds, E4).

Discussion et premiers éléments de conclusion

Les réductions du taux mensuel de satisfaction des besoins en eau jusqu'à des niveaux de 80 à 60% par rapport aux besoins optimaux peuvent, à première vue, paraître peu spectaculaires mais, en dessous d'un taux de satisfaction de 80 % sur une période de plusieurs jours, cela a une incidence sur la photosynthèse et donc sur la croissance de la culture.

Pour les micro-zones les moins stressées comme Petite Ile, on peut supposer qu'un rattrapage pourra avoir lieu. En revanche, pour les zones les plus stressées comme à Pierrefonds, on peut craindre, qu'avec les hypothèses retenues dans cette étude (des coupures jusqu'à fin mars), le rendement soit fortement compromis, même si les conditions redeviennent normales à partir de début avril. En effet, d'après Dorenboos and Pruitt (FAO, 1992) qui rapportent les travaux de Chang 1963 (figure annexe 1), un rapport ETR/ETM d'environ 0.6 a une nette incidence sur le rendement. Cet effet est variable en fonction de la durée du stress mais il peut aller jusqu'à un rendement de la canne divisé par 2. Ceci correspond néanmoins à des travaux expérimentaux anciens.

L'utilisation de l'outil FIVE-CoRe a permis, en très peu de temps, de modéliser les dates et les doses des irrigations possibles, compte tenu des coupures. Il a aussi permis de caractériser le niveau de stress hydrique subi par les cultures et de cartographier les zones les plus touchées du Bras de la Plaine.

Ces informations vont servir à la mise en oeuvre de l'outil de modélisation Mosicas. Celui-ci devrait permettre de donner des indications sur l'incidence de ces réductions des irrigations et de la baisse du taux de satisfaction des besoins sur la croissance et sur le rendement final. Ceci fera l'objet d'une seconde étude du CIRAD, dans la continuité de celle-ci, qui sera menée sous la responsabilité de JF Martiné.

Références

CHANG J H, 1963. Microclimate of sugarcane. Hawaiin Planter's record 56 (2) 195-225.

CHOPART, J.L. et VAUCLIN, M. (1990). Water balance estimation model: Field test and sensitivity analysis. Soil Sci. Soc. Am. J., 54, 1377-1384.

CHOPART JL, MEZINO M, LE MEZO L et FUSILLIER JL, 2007**.** FIVE-CORE a simple model for farm irrigation volume estimates according to constraints and requirements. Application to sugarcane in Réunion (France). A paraître dans les abstracts du congrès ISSCT Durban, juillet 2007.

CHOPART JL, FUSILLIER JL, L LE MEZO M MEZINO L RICHEFORT et C CORNU, 2006. Variabilité des consommations en eau d'irrigation en culture de canne à sucre dans les périmètres du sud de La Réunion (Bras de la Plaine, Bras de Cilaos). Rôles des facteurs pédo-climatiques et des modes d'irrigation. Note scientifique CIRAD 36 p.

DOORENBOS J. et PRUITT, W.O., 1977. Crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper n°24. FAO Roma, Italy. 193 pp.

RAUNET M., 1991.Carte morpho-pédologique des périmètres du Bras de Cilaos et du Bras de la Plaine, aptitudes à l'irrigation ; carte au 1/10000ème. Cirad IRAT.

ANNEXES

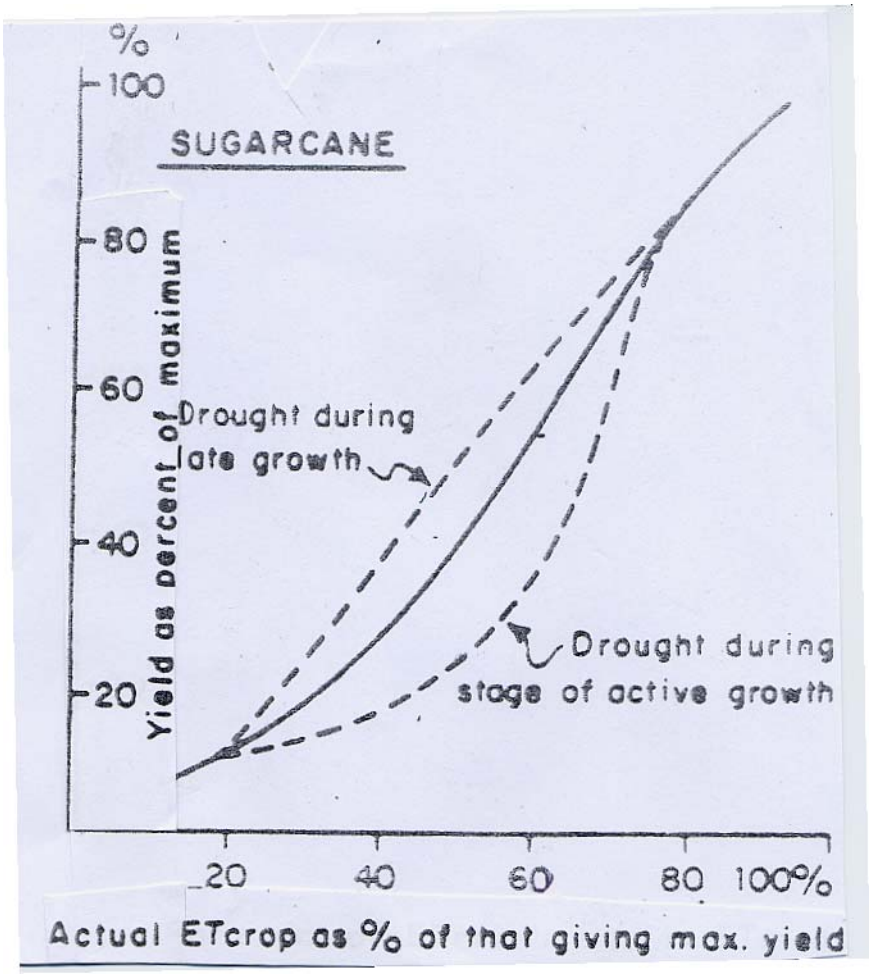

Figure annexe 1. Relation entre le taux de satisfaction des besoins en eau de la canne à sucre (ETR/ETM) et le taux de réduction du rendement par rapport à un rendement maximum en conditions d'alimentation constamment optimales. D'après le bulletin n° 24 de la FAO (Dorenboos and Pruitt1992) qui ont eux même repris les résultats de Chang (1963).

Tableau annexe n° 1. Besoin en eau d'irrigation (BTEI), et différences entres ces BTEI et les apports possibles compte tenu des coupures dans chaque micro zone, en fonction de la date de début du cycle de la culture : début de campagne (1 août), milieu de campagne (1 oct.), fin (1 dec.).

		BTEI en m3/ha			déficit			% de différence		
		janv-07	févr-07	mars-07	janv-07	févr-07	mars-07	janv-07	févr-07	mars-07
canne de début de campagne	E01	639	402	910	139	26	392	22%	7%	43%
	E02	506	603	833	90	214	225	18%	36%	27%
	E03	850	799	786	506	337	353	60%	42%	45%
	E04	840	844	699	514	417	288	61%	49%	41%
	E05	875	797	709	494	356	266	56%	45%	38%
	E06	898	732	701	524	372	264	58%	51%	38%
	E07	758	688	748	328	257	230	43%	37%	31%
	E08	931	865	617	492	411	117	53%	48%	19%
	E09	843	751	558	381	349	87	45%	46%	16%
	E10	780	520	780	325	65	65	42%	13%	8%
	E11	780	455	845	390	0	130	50%	0%	15%
	E12	715	585	715	325	0	130	45%	0%	18%
	E13	715	520	390	260	130	-65	36%	25%	-17%
	E14	780	780	585	390	325	65	50%	42%	11%
	E15	919	588	390	462	158	331	50%	27%	85%
	E16	815	783	502	425	393	136	52%	50%	27%
	E18	650	260	390	130	0	325	20%	0%	83%
	E19	780	390	455	260	0	65	33%	0%	14%
canne de milieu de campagne	E01	629	345	919	137	-31	402	22%	-9%	44%
	E02	456	608	833	51	219	267	11%	36%	32%
	E03	850	799	786	506	337	353	60%	42%	45%
	E04	839	844	699	514	417	288	61%	49%	41%
	E05	872	797	709	493	356	266	57%	45%	38%
	E06	894	732	701	523	372	264	58%	51%	38%
	E07	754	688	748	327	257	230	43%	37%	31%
	E08	929	865	617	491	411	117	53%	48%	19%
	E09	822	751	558	367	349	87	45%	46%	16%
	E10	715	715	780	325	195	65	45%	27%	8%
	E11	780	520	910	390	65	195	50%	13%	21%
	E12	715	715	585	325	130	0	45%	18%	0%
	E13	650	520	585	195	130	130	30%	25%	22%
	E14	780	780	585	325	325	65	42%	42%	11%
	E15	912	588	390	457	158	331	50%	27%	85%
	E16	808	783	502	420	393	136	52%	50%	27%
	E18	780	65	390	325	-195	325	42%	-300%	83%
	E19	780	390	455	325	0	65	42%	0%	14%
canne de fin de campagne	E01	340	324	788	-36	113	269	-11%	35%	34%
	E02	125	320	975	-3	-6	416	-2%	-2%	43%
	E03	459	772	786	333	311	353	73%	40%	45%
	E04	443	814	699	324	410	288	73%	50%	41%
	E05	488	743	708	283	308	265	58%	41%	37%
	E06	458	693	701	270	336	265	59%	48%	38%
	E07	143	697	769	-18	328	249	-13%	47%	32%
	E08	558	796	617	322	345	117	58%	43%	19%
	E09	467	670	553	334	278	86	72%	41%	16%
	E10	390	390	780	325	-65	130	83%	-17%	17%
	E11	390	390	780	260	65	65	67%	17%	8%
	E12	390	390	780	325	-65	195	83%	-17%	25%
	E13	390	260	520	195	65	65	50%	25%	13%
	E14	390	780	650	65	325	130	17%	42%	20%
	E15	438	547	389	154	176	330	35%	32%	85%
	E16	263	777	502	24	397	140	9%	51%	28%
	E18	390	0	390	0	0	325	0%	0%	83%
	E19	390	390	390	0	65	195	0%	17%	50%

Tableau annexe n° 2. Taux de satisfaction des besoins en eau pendant le premier trimestre 2007(J-F-M) dans chacune des micro-zones, dans l'hypothèse sans coupure (S) et avec coupures (A) pour une canne de début de campagne (début 1 août).

		canne de début de campagne			
	Entité	janv-07	févr-07	mars-07	moy J-F-M
E01	S	0.86	0.87	0.87	0.87
	A	0.86	0.84	0.76	0.82
E02	S	0.88	0.87	0.87	0.88
	A	0.88	0.79	0.70	0.79
E03	S	0.80	0.82	0.86	0.83
	A	0.77	0.55	0.69	0.67
E04	S	0.85	0.81	0.86	0.84
	A	0.62	0.53	0.68	0.61
E05	S	0.79	0.83	0.86	0.83
	A	0.72	0.54	0.71	0.66
E06	S	0.85	0.83	0.85	0.84
	A	0.71	0.54	0.62	0.62
E07	S	0.84	0.84	0.87	0.85
	A	0.80	0.75	0.73	0.76
E08	S	0.85	0.85	0.86	0.86
	A	0.71	0.64	0.77	0.71
E09	S	0.88	0.85	0.87	0.87
	A	0.78	0.61	0.72	0.70
E10	S	0.86	0.83	0.83	0.84
	A	0.85	0.71	0.74	0.77
E11	S	0.83	0.83	0.85	0.84
	A	0.74	0.69	0.77	0.74
E12	S	0.83	0.82	0.84	0.83
	A	0.77	0.75	0.78	0.77
E13	S	0.85	0.83	0.83	0.84
	A	0.80	0.74	0.81	0.78
E14	S	0.84	0.78	0.81	0.81
	A	0.82	0.64	0.65	0.70
E15	S	0.85	0.84	0.91	0.87
	A	0.68	0.65	0.75	0.70
E16	S	0.85	0.84	0.88	0.86
	A	0.73	0.61	0.72	0.69
E17	S	0.85	0.86	0.86	0.85
	A	0.76	0.76	0.81	0.78
E18	S	0.87	0.89	0.84	0.87
	A	0.86	0.83	0.78	0.82
E19	S	0.85	0.88	0.86	0.86
	A	0.83	0.77	0.84	0.81

Tableau annexe n° 3. Taux de satisfaction des besoins en eau pendant le premier trimestre 2007 (J-F-M) dans chacune des micro-zones, dans l'hypothèse sans coupure (S) et avec coupures (A) pour une canne de milieu de campagne (début 1 octobre).

		canne de milieu de campagne			
	Entité	janv-07	févr-07	mars-07	moy J-F-M
E01	S	0.9	0.9	0.9	0.90
	A	0.8	0.8	0.8	0.88
E02	S	0.9	0.9	0.9	0.90
	A	0.9	0.8	0.7	0.84
E03	S	0.9	0.8	0.9	0.88
	A	0.6	0.6	0.6	0.79
E04	S	0.9	0.8	0.8	0.87
	A	0.6	0.5	0.7	0.78
E05	S	0.8	0.8	0.8	0.88
	A	0.6	0.6	0.7	0.81
E06	S	0.8	0.8	0.9	0.89
	A	0.6	0.7	0.7	0.81
E07	S	0.9	0.8	0.9	0.90
	A	0.8	0.7	0.7	0.82
E08	S	0.8	0.8	0.9	0.89
	A	0.8	0.5	0.7	0.82
E09	S	0.9	0.9	0.9	0.90
	A	0.8	0.6	0.7	0.83
E10	S	0.9	0.8	0.8	0.87
	A	0.9	0.7	0.8	0.85
E11	S	0.9	0.8	0.8	0.88
	A	0.9	0.7	0.7	0.83
E12	S	0.9	0.8	0.9	0.88
	A	0.9	0.7	0.8	0.85
E13	S	0.9	0.8	0.9	0.89
	A	0.8	0.8	0.8	0.88
E14	S	0.8	0.8	0.9	0.88
	A	0.8	0.7	0.8	0.83
E15	S	0.9	0.9	0.9	0.91
	A	0.8	0.6	0.8	0.85
E16	S	0.9	0.9	0.9	0.90
	A	0.7	0.6	0.7	0.84
E17	S	0.9	0.8	0.9	0.89
	A	0.8	0.7	0.8	0.86
E18	S	0.9	0.9	0.8	0.90
	A	0.8	0.8	0.8	0.88
E19	S	0.9	0.8	0.9	0.90
	A	0.7	0.7	0.8	0.89

Tableau annexe n° 4. Taux de satisfaction des besoins en eau pendant le premier trimestre 2007 (J-F-M) dans chacune des micro-zones, dans l'hypothèse sans coupure (S) et avec coupures (A) pour une canne de fin de campagne (début 1 décembre).

		canne de fin de campagne			
	Entité	janv-07	févr-07	mars-07	moy J-F-M
E01	S	1.0	0.9	0.9	0.95
	A	1.0	0.9	0.8	0.95
E02	S	1.0	0.9	0.9	0.95
	A	1.0	0.9	0.8	0.95
E03	S	0.9	0.8	0.9	0.95
	A	0.8	0.5	0.7	0.95
E04	S	0.9	0.8	0.9	0.95
	A	0.8	0.5	0.7	0.95
E05	S	0.9	0.8	0.9	0.95
	A	0.9	0.6	0.7	0.94
E06	S	0.9	0.8	0.9	0.95
	A	0.9	0.7	0.7	0.94
E07	S	0.9	0.9	0.9	0.95
	A	0.9	0.8	0.7	0.94
E08	S	0.9	0.9	0.9	0.95
	A	0.9	0.6	0.8	0.94
E09	S	1.0	0.9	0.9	0.95
	A	0.9	0.7	0.7	0.95
E10	S	1.0	0.8	0.8	0.94
	A	1.0	0.8	0.7	0.94
E11	S	1.0	0.9	0.8	0.95
	A	1.0	0.8	0.8	0.95
E12	S	1.0	0.8	0.9	0.94
	A	1.0	0.8	0.8	0.94
E13	S	1.0	0.8	0.9	0.94
	A	1.0	0.8	0.8	0.95
E14	S	0.9	0.8	0.9	0.94
	A	0.9	0.8	0.7	0.94
E15	S	0.9	0.9	0.9	0.95
	A	0.9	0.8	0.8	0.96
E16	S	1.0	0.9	0.9	0.95
	A	1.0	0.7	0.7	0.96
E17	S	1.0	0.9	0.9	0.94
	A	1.0	0.8	0.8	0.94
E18	S	1.0	0.9	0.9	0.98
	A	1.0	0.9	0.9	0.98
E19	S	1.0	0.9	0.9	0.97
	A	0.9	0.9	0.9	0.95